

学校编码: 10384

学 号: 22420111151368

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

台湾海峡西岸主要流域降水 时空分布特征的研究

Spatial and temporal variability of precipitation over the
main river basins in the west coast of Taiwan Strait

李 达

指导教师姓名: 张彩云 副教授

专 业 名 称: 物 理 海 洋 学

论文提交日期: 2014 年 5 月

论文答辩时间: 2014 年 5 月

2014年5月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（国家自然科学基金-海峡两岸科技合作联合基金（编号U1305231）“极端天气下台湾海峡动力环境演变与生态响应”）课题（组）的研究成果，获得（国家自然科学基金（U1305231、40810069004和40706041）、福建省自然科学基金（2011J01278））的资助，在（福建省海陆界面生态环境重点实验室）完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ☒ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	III
第 1 章 引言.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.1.1 流域降水的研究现状.....	1
1.1.2 TRMM 遥感资料的应用与评估.....	4
1.1.3 台湾海峡及其邻近区域降水、强降水的研究现状.....	6
1.2 论文选题与研究内容.....	10
1.3 研究区域.....	11
第 2 章 数据与方法.....	14
2.1 TRMM 遥感降水资料及其适用性评估.....	14
2.2 辅助分析资料.....	17
2.2.1 气象台站降水资料.....	17
2.2.2 径流量数据.....	17
2.2.3 MEI 指数.....	17
2.2.4 南海夏季风指数.....	17
2.2.5 热带气旋.....	18
2.3 数据处理与分析方法.....	18
2.3.1 EOF 分析方法.....	18
2.3.2 EMD 分析方法.....	22
2.3.3 功率谱密度分析.....	23
2.4 降水季节的划分.....	23
第 3 章 台湾海峡及其邻近区域降水分布的基本特征.....	25
3.1 年变化.....	25

3.2 年际变化	27
3.3 小结	30
第 4 章 台湾海峡西岸主要流域降水的时空分布特征	32
4.1 EOF 分析	32
4.1.1 闽江流域	32
4.1.2 九龙江流域	34
4.1.3 韩江流域	35
4.1.4 变化周期	36
4.2 降水分布的季节差异	37
4.3 流域降水年际变化的主要影响因子	41
4.3.1 南海夏季风	41
4.3.2 ENSO	42
4.4 径流与降水的关联	45
4.5 小结	46
第 5 章 台湾海峡西岸主要流域强降水的时空分布	47
5.1 空间分布特征	47
5.2 年变化和年际变化	48
5.3 周期特征	53
5.4 小结	56
第 6 章 总结与展望	57
6.1 总结	57
6.2 不足与展望	58
参考文献	59
攻读硕士学位期间发表的论文	68
致 谢	69

Content

Abstract (in Chinese)	I
Abstract (in English)	III
Chapter 1 Preface	1
1.1 Research background	1
1.1.1 Research of the watershed precipitation	1
1.1.2 Application and assessment of TRMM	4
1.1.3 Precipitation and heavy precipitation research in Taiwan Strait and its adjacent areas	6
1.2 Topic selection of thesis and research contents	10
1.3 Study area	11
Chapter 2 Data and Methodology	14
2.1 Assessment of TRMM precipitation data	14
2.2 Other materials	17
2.2.1 Precipitation from meteorological station	17
2.2.2 Runoff volume from hydrometric station	17
2.2.3 MEI	17
2.2.4 Summer monsoon index of South China Sea	17
2.2.5 Tropical cyclone	18
2.3 Data processing and analysis method	18
2.3.1 EOF analysis method	18
2.3.2 EMD analysis method	22
2.3.3 Power spectral-density analysis	23
2.4 Seasonal division of precipitation	23
Chapter 3 Basic characteristic of precipitation distribution over Taiwan Strait and its adjacent area	25
3.1 Annual variation	25

3.2 Interannual variation.....	27
3.3 Brief summary	30
Chapter 4 Spatial and temporal variability of precipitation over the main river basins in the west coast of Taiwan Strait	32
4.1 EOF analysis	32
4.1.1 Min River basin.....	32
4.1.2 Jiulong River basin.....	34
4.1.3 Han River basin.....	35
4.1.4 Periodic characteristic	36
4.2 Seasonal difference of precipitation distribution	37
4.3 Impact factor on inter-annual variability of precipitation	41
4.3.1 South China Sea summer monsoon	41
4.3.2 ENSO	42
4.4 Correlation between precipitation and runoff	45
4.5 Brief summary	46
Chapter 5 Spatial and temporal distribution of heavy precipitation in the west coast of Taiwan Strait	47
5.1 Spatial distribution characteristics.....	47
5.2 Annual and interannual variability	48
5.3 Periodic characteristic	53
5.4 Brief summary	56
Chapter 6 Conclusion and prospects	57
6.1 Conclusion	57
6.2 Future works	58
References.....	59
Published or accomplished papers.....	68
Acknowledgements.....	69

摘 要

流域降水研究对于流域营养盐和污染物输运、河口冲淡水及其生态效应、近海海洋生态系统变化等诸多研究领域都具有重要意义。本研究对 TRMM 遥感降水资料进行了区域适用性评估,在确保该资料集能真实反映台湾海峡及其邻近区域降水分布趋势的前提下,综合使用 EOF 分析、功率谱分析、EMD 分析等多种方法,借助 TRMM 遥感数据高空间覆盖度的优势,探讨台湾海峡及其邻近区域,尤其是台湾海峡西岸主要流域的降水、强降水的时空变化特征。

首先,基于 1998-2012 年 TRMM 3B43 月降水数据的台湾海峡及其邻近区域降水分布基本特征的研究结果显示:每年的 4-9 月为台湾海峡及其邻近区域的丰水季节,多年平均的月降水量在部分地区可高达 300 mm 以上;冬季为枯水季节,绝大部分地区的月降水量小于 100 mm。该地区降水来源,一是来自于春夏之交西南暖湿空气和变性的大陆冷空气相遇所形成锋面经过此地区所产生的降水,二是夏季台风带来的强降水。在春夏之交,强降水区主要位于闽西北地区,夏季则主要位于台湾岛南部地区以及福建沿海。1998-2012 年台湾海峡及其邻近区域年降水量的变化相当显著,不同流域的年际变化趋势不太一样。

接着,本文应用 EOF 分析、功率谱分析等方法对台湾海峡西岸闽江、九龙江和韩江流域降水的时空分布特征进行了深入分析。EOF 分解的第一模态主要体现了丰水期和枯水期的年变化特征,空间分布表现出整体一致性,变化幅度均以山区为最大;锋面、地形降水起着决定性影响。第二模态主要体现后汛期降水与其它季节降水分布特征的差异,空间分布上主要表现为或东南-西北反相、或南-北反相型的分布格局。此外,三个流域降水在不同季节的年际变化都相当显著,尤其是雨季,年际变化幅度最大。夏季降水与南海夏季风强度的变化存在较好的正相关;El Nino 事件对闽江流域西北部影响最为显著,对三个流域枯水期降水的影响范围最大,降水量均较正常状态偏多;而 La Nina 事件期间,三个流域的降水均比正常状态要少,内陆地区减少的幅度比沿海更大。

最后, 本文利用 1998-2012 年 TRMM 3B42 日降水资料, 对台湾海峡西岸各流域的极端强降水事件进行了统计分析。在空间分布上, 各流域强降水最为频发、显著的区域多为山区和沿海地带; 在年变化上, 闽江、韩江流域强降水主要集中在雨季, 九龙江流域强降水年变化则表现为典型的双峰结构。在年际变化上, 三个流域丰水期强降水均呈现出一定的周期性波动, 枯水期强降水整体上表现为较明显的上升趋势; 十五年来, 闽江流域、九龙江流域年强降水日单调增加, 韩江流域年强降水日单调递减, 各流域均表现出 3 种不同尺度的变化周期, 分别为 2-3 年、5 年左右、9-10 年。

关键词: TRMM 降水; 台湾海峡; 闽江流域; 九龙江流域; 韩江流域

Abstract

The research on watershed precipitation has great significance not only for nutrients and pollutants transport in river basin but also for the study on estuary ecological effects. In this thesis, we retrieved data from TRMM (Tropical Rain Measuring Mission) rain rate available in daily and monthly temporal and 25 km spatial resolutions. The rainfall data from Xiamen meteorological station was used to validate the TRMM satellite rain rate and found significant correlation between them. This paper is focused on spatial and temporal variability of precipitation over the main river basins in the west coast of Taiwan Strait over the 15-year period from 1998 to 2012.

In the first part, we research on the basic features of regional precipitation distribution in Taiwan Strait and its adjacent area. The climatological monthly analysis showed that April to September is rainy season. The maximum rainfall occurs in June, followed by August. The average monthly precipitation in parts of TWS and its adjacent area could exceed 300 mm. It was supposed that the precipitation mainly come from the frontal precipitation in spring and typhoon rainfall in summer. The result also indicated that spatial difference in precipitation is in connection with the influence of topography to a great degree. Furthermore, at inter-annual time scale, it was found that the highest rainfall appeared in 1998, 2006 and 2010, the minimum in 2003. This might be attributed to the difference in rainfall intensity brought by typhoons and the El Nino effect.

Then, this paper uses some statistical methods such as EOF analysis, power spectrum analysis to study on the spatial and temporal distribution of precipitation over the main river basins in the west coast of Taiwan Strait. EOF

analysis results show that: the first mode reflects the overall consistent pattern in spatial distribution of precipitation in the three basins, which is influenced by East Asian monsoon; the second mode presents southeast-northwest inverting type, or South-North Inverting type, which reflects the difference of precipitation mechanism between the rainy seasons (5-6) and the summer seasons (7-9) in different river basins. Seasonal variation is the remarkable characteristic in annual and inter-annual variability of precipitation, with 11-13 month and 2-3 month periods. The spatial distribution is significantly different in every season. Precipitation in spring seasons (3-4) and rainy seasons (5-6) are concentrated in the northwestern of the three basins because of the frontal precipitation and orographic precipitation; The precipitation center transfers from the northwest inland to the southeast coast influenced by the South China Sea summer monsoon and tropical cyclones in summer. The Inter-annual variability of precipitation during the rainy season showed obvious fluctuation, and the summer precipitation is showing a steady decreasing trend. The strength of the South China Sea summer monsoon will affect the amount of summer precipitation over the main river basins in the west coast of Taiwan Strait to a certain extent. El Nino mainly affects the precipitation and its spatial distribution of dry season.

At last, we analysis the extreme heavy precipitation events over the main basins in the west coast of Taiwan Strait based on the TRMM 3B42 from 1998 to 2012. As for the spatial distribution, we got that the mountainous and coastal regions is the area that heavy precipitation occurs frequently. In annual variation aspect, the heavy rainfall concentrates in rainy season both in Min River basin and Han River basin. But the annual variation of heavy precipitation in Jiulong River basin has characteristic with ‘double-peak’. As to the interannual variation, the heavy rainfall appears a periodic fluctuation in rainy seasons and a increasing trend in dry season all the three basins. In gernal,

the heavy precipitation days increase from 1998 to 2012 both in Min River basin and Jiulong River basin, while decrease in Han River basin. There are three change cycles of heavy precipitation days in all basins; they are 2-3 years, 5 years and 9-10 years.

Keywords: TRMM precipitation; Taiwan Strait; Min River basin; Jiulong River basin; Han River basin

第 1 章 引言

1.1 研究背景

降水是地球气候系统的关键部分，通过潜热释放对大气环流系统产生影响 (Browning et al., 1990; Cheng, 1994)，具有显著的天气和气候意义。同时，作为海气相互作用的一种反馈形式，降水某种程度上反映了海洋系统对气候的调节控制。自二十世纪下半叶以来，全球变暖逐渐成为世界瞩目的焦点气候问题，并由此衍生出海洋-大气系统的一系列改变。在这一气候环境下，降水的时空分布特征也呈现出了一定程度的变动。Akio 等 (2005) 指出，全球变暖在降水方面表现为空间和时间上的重新分配：从 1900 至 2005 年，在北美和南美的东部地区、北欧和亚洲北部及中亚地区降水显著增加，但在萨赫勒、地中海、非洲南部地区和南亚部分地区降水减少。与此同时，流域降水量分配特点和影响机制，也随之引发诸多关注 (Beighley et al., 2011; Tarnavsky et al., 2012; 杨传国等, 2009)。

掌握降水的时空变化规律不仅在流域水资源管理应用、全球变暖下水环境研究具有重要意义，因其在径流物质迁移中的动力学作用，降水在流域营养盐流失、污染物输运、河口富营养化、近海海洋环境生态效应等方面也具有举足轻重的影响。

随着海洋、环境、气候气象科学监测手段的发展，卫星遥感、数值模拟等监测手段、研究方法逐渐被广泛地应用于水资源环境领域 (Berg et al., 2006; Dai et al., 2007; Puri et al., 2011)。关于全球以及区域降水的分布特点、背景成因、影响效应以及极端降水事件等方面的研究，突破了以往气象台站数据资料的局限性，研究内容逐步深入，研究方法愈加多样，研究视角日趋全面。

1.1.1 流域降水的研究现状

近年来，伴随着人类活动的干扰和自然环境的变化，流域的气候和水文环境均发生了显著改变，关于流域降水的研究在全球诸多主要流域都已受到关注。

Marengo (2004) 对 1929-1998 年亚马逊河流域及其北部、南部子流域长期降水格局的分析表明，亚马逊流域及其北部子流域降水呈下降趋势，南部子流域

则呈上升的趋势；亚马逊河北部子流域长期降水表现为年际和年代际尺度的变化特征，南部子流域则以年代际变化为主。1975 年之后亚马逊河流域北部降水显著减少可能与 1975-1998 年间更频繁剧烈的厄尔尼诺事件所造成的热带太平洋中部、东部海温场的变暖有关。Liebmann 和 Marengo (2001) 对亚马逊河流域季节性降雨的年际变化进行了相关研究，深入探讨其与热带太平洋和大西洋海表温度 (SST) 的关系，结果显示：在流域的赤道区域，降水与 SST 高度线性相关；在雨季旱季的过渡季节以及旱季，降水与 SST 相关性较好，海温对雨季开始或结束时间的影响，强于对雨季降雨的影响。Sohouland 等 (2014) 将熵理论应用于降水的时空变化研究中，研究了北美季风区流域特征和夏季降水变化之间的潜在相互作用，发现美国西南部流域降水量和降水事件的熵变化由东向西逐渐增加，地形在夏季降水的时空变化上起到稳定性的作用。

Jiang 等 (2007) 采用 M-K 检验和线性回归分析考察了 1961-2000 长江流域降水和径流的时空变化趋势：长江流域夏季降水呈上升趋势，暴雨频率的增加是流域夏季降水增加的主要贡献因素，和降水、强降水事件相关的长江中下游洪水流量也表现出相应的显著上升趋势。Zhang 等 (2008) 同样采用 M-K 突变趋势检验，探讨了 1960-2005 年长江流域降水峰值的时空变化特征，发现 20 世纪 70 年代中期以后降水峰值波动增加，表现出显著的增加或减少趋势。

此外，苏布达等学者也对全球变暖背景下长江流域降水的时空分布特征进行了一系列研究。Su 等 (2006) 基于 1960-2002 年 108 个气象台站的日数据，采用 M-K 趋势检验法和线性回归分析来评估长江流域极端气温和极端降水事件的年变化和年际变化趋势，结果表明暴雨日数（日降水量 ≥ 50 毫米）的显著增加，导致了长江中下游流域夏季降水的上升趋势。进而，他特别针对长江流域强降水事件进行深入探讨，结果显示：1986 年以来长江流域（尤其是中下游地区）极端强降水事件和极端降水强度均出现显著增加的趋势，流域上游极端降水事件峰值提前到 6 月份出现，与长江中下游极端降水峰值出现的时间几乎同步，从而加大遭遇性洪水发生的机率，造成了 90 年代洪涝灾害的频发（苏布达等，2006）。此外，苏布达等 (2007) 根据实测日降水资料和 ECHAMS/MPI-OM 气候模式日降水模拟资料，对长江流域降水极值序列的时空分布特征和概率分布模式的分析

表明：长江流域强降水事件的强度和概率最大的地区位于岷沱江流域中游、洞庭湖湖区、长江中下游干流区与鄱阳湖东南部支流等地区，干旱事件强度和概率最大的地区位于金沙江流域中下游与嘉陵江流域。

珠江流域是我国流量仅次于长江的第二大河流域，位于降水异常丰富的华南地区。Yang 等（2010）考察了线性矩、平稳性检验、序列相关性检验等统计学检验方法在珠江流域降水中的应用，发现线性矩的有效利用对流域降水频率分析至关重要。邓汗青（2013）基于台站逐日降水资料，研究了 1961-2008 年珠江流域年降水时空特征：珠江流域东部年均降水量多而降水日数少，西部一些地区降水量少而日数较多，总体上来看近 10 年来流域内年降水总量波动较大，强降水年的降水量多来自于大雨以上级别的强降水。

流域降水的时空分布以及异常受到大气环流系统（包括副热带高压、季风环流等）的较大影响。张顺利（2002）通过对长江中下游 1991、1996 和 1998 年 3 次洪水暴雨的大尺度、天气尺度、中- α 尺度系统的分析，概括出长江流域出现致洪暴雨的环流条件是太平洋副热带高压、南海季风涌、中高纬度冷空气和青藏高原中尺度对流系统的最佳组配。邓汗青（2013）分析了珠江流域典型降水年份的气候背景场，从全年来看，强降水年有来自于孟加拉湾和南海异常的偏南风水汽输送，流域内并伴随有异常水汽辐合中心；弱降水年则水汽输送减弱，且存在水汽辐散中心；由于年降水总量近 80% 来自于夏半年（4-9 月），登陆到流域内热带气旋偏多也是导致珠江流域降水增加的原因之一。

2003 年江淮流域降水尤其充沛。章国材（2004）利用 NCEP 再分析资料对 2003 年淮河强降水的大尺度环流特征及其成因分析后认为：中高纬度两槽一脊的稳定维持，副高脊线持续稳定在 22-25°N 之间，淮河流域恰好位于高空急流的右前方、低空急流的左前方，是造成 2003 年 6-7 月淮河流域连续性暴雨的主要原因。周玉淑（2005）分析了江淮流域 2003 年强梅雨期的水汽输送特征，发现江淮流域是该时期全球范围内水汽汇合的一个高值中心，且水汽通量大值区和水汽辐合区与降水大值区基本一致；从水汽的输送来看，夏季印度风环流和南海夏季风是向江淮流域输送水汽的主要通道，同时低纬大洋上的水汽也可途经青藏高原后再从西边界向东输入到江淮地区，它的输送有可能增大江淮流域上空对流层

中层大气中的水汽含量从而有利于强梅雨在江淮流域的发生。

在全球变暖、极端气候事件如此频发的当下，不仅亚马逊河、长江、珠江、密西西比等较大江河流域的降水变化研究受到青睐，东北三江流域（孙力等，2002；姚秀萍和董敏，2000）、湘江（肖艳等，2010）、汉江（李景刚和黄诗峰，2011）、澜沧江（曾红伟和李丽娟，2011）等中小型流域以及鄱阳湖（王怀清等，2009）、洞庭湖（李景刚等，2010）等湖泊流域的相关降水研究也备受关注，在此不做详细论述。

1.1.2 TRMM 遥感资料的应用与评估

由日本国家空间发展署（NASDA）和美国国家航空航天局（NASA）地球科学办公室共同主持的 TRMM 热带降水计划，自 1997 年 11 月 28 日 TRMM 卫星发射成功以来，为海洋和气象工作者提供了大量热带海洋降水、云中液态水的含量、潜热释放等数据。

Hirose M 和 Nakamura K（2005）采用 1998-2003 年间的星载雷达降水数据，研究了亚洲降水日变化的空间变异性：小尺度降水系统主要发生在下午，青藏高原为小尺度降水系统高发区；较大尺度降水系统则主要出现在晚上，降水区以平坦的陆地为主。Berg 等（2006）将 PR-TMI 在降水监测中的差异与物理变量相结合，对影响卫星降水偏差的物理机制给予了探讨，结果显示 PR-TMI 在中纬度风暴路径的降雨检测上具有显著偏差。Dai 等（2007）基于 TRMM 3B42 等空间数据对中低纬度地表降水的频率、强度以及降水的昼夜周期进行了研究，认为降水频率是降水量空间分布差异的主要成因。Varikoden 等（2010）选取四个具有代表性的区域（马来西亚半岛南部沿海、东部沿海、西部沿海以及山区）对马来半岛降雨量的空间分布以及昼夜变化进行相关研究分析，发现不同区域降水发生频率的昼夜变化有所不同：在沿海地区，降水日变化大多数的季节以双峰为主；而高原和内陆地区，以单峰变化为主。Puri 等（2011）利用 TRMM PR 后向回波信号对美国南佛罗里达洲湿地水位进行了研究，构建了关于湿地水位和 TRMM 降水雷达后向散射这两个变量的线性模型，分析了雷达后向散射对淹没植被水位的影响。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库